



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 09 589 A 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
G 01 B 5/012
G 01 B 5/24

②① Aktenzeichen: 198 09 589.9
②② Anmeldetag: 6. 3. 98
④③ Offenlegungstag: 9. 9. 99

DE 198 09 589 A 1

⑦① Anmelder:
Fa. Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE

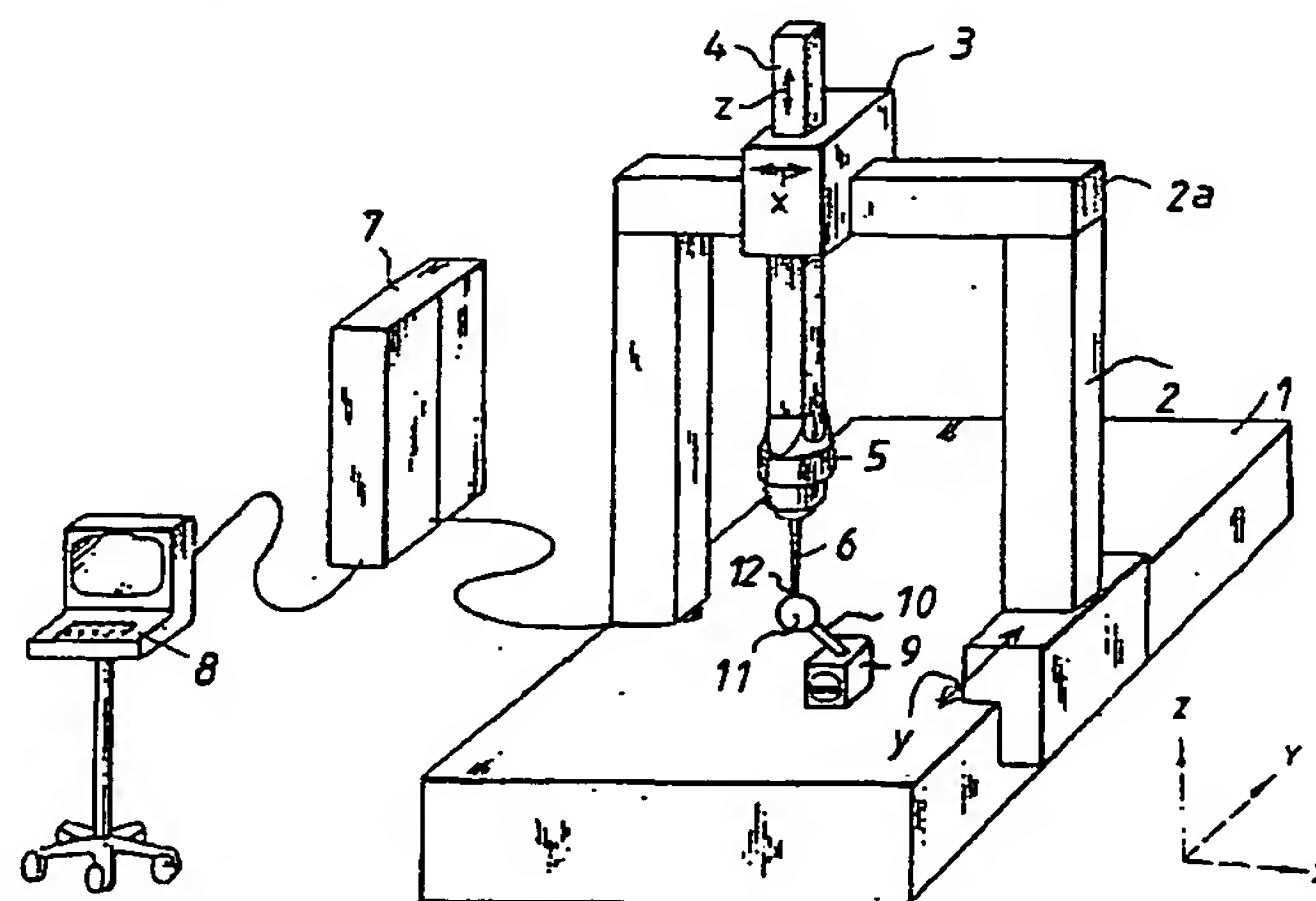
⑦② Erfinder:
Arndt, Thomas, 73434 Aalen, DE; Wiedmann,
Wolfgang, 73434 Aalen, DE; Bernhardt, Ralf, 73432
Aalen, DE; Puntigam, Walter, 89520 Heidenheim,
DE; Rögele, Rudolf, 89551 Königsbronn, DE; Peter,
Heinz, 89079 Ulm, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Verfahren zur Kalibrierung eines Tasters eines Koordinatenmeßgerätes

⑤⑦ Es wird ein Verfahren zur Kalibrierung des Tasters (6) eines elektronisch gesteuerten Koordinatenmeßgerätes mit einem Kalibrierkörper (11) bekannter Geometrie vorgestellt. Das Verfahren umfaßt nachfolgende Verfahrensschritte:

- Verfahren des Tastkopfes entlang einer Bahn, derart, daß zumindest Teile der Oberfläche des Kalibrierkörpers kontinuierlich durch den Taster entlang einer Linie abgetastet werden, wobei die Linie derart ausgestaltet ist, daß sie nicht auf eine Ebene beschränkt ist
- Berechnen der dem Taster zugeordneten Kalibrierdaten aus den beim Abtasten aufgenommenen Meßwerten.



DE 198 09 589 A 1

BEST AVAILABLE COPY

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kalibrierung eines Tasters eines elektronisch gesteuerten Koordinatenmeßgerätes mit einem Kalibrierkörper, sowie ein Koordinatenmeßgerät, mit dem das betreffende Verfahren durchgeführt wird.

Derartige Verfahren sind aus dem Stand der Technik bereits hinreichend bekannt und werden üblicherweise dazu verwendet, um die Position des Mittelpunktes und den Radius der am Ende des Tasters befestigten Tastkugel oder Tastscheibe im Maschinenkoordinatensystem zu bestimmen. Dies ist notwendig, da in den heute verwendeten Koordinatenmeßgeräten eine Vielzahl von Tastern mit unterschiedlicher Geometrie eingesetzt werden, wobei zur Vermessung eines Werkstückes dann die genaue Geometrie des entsprechenden Tasters bekannt sein muß.

Zur Kalibrierung der Taster wird hierbei heute häufig als Kalibrierkörper eine Kugel verwendet, die von dem zu kalibrierenden Taster an einer Vielzahl von unterschiedlichen Stellen einzeln angetastet wird. Aus den gemessenen Meßwerten, kann dann, da die Geometrie der als Kalibrierkörper genutzten Kugel sehr genau bekannt ist, der Mittelpunkt und der Radius der am Ende des Tasters angebrachten Tastkugel bzw. Tastscheibe bestimmt werden.

Das bislang verwendete Kalibrierverfahren weist eine Reihe von Besonderheiten auf. So muß bei dem bislang bekannten Kalibrierverfahren der Kalibrierkörper mit dem Taster angetastet werden und nach der Antastung wieder vom Kalibrierkörper entfernt werden. Diese Vorgehensweise muß für alle abzutastenden Punkte durchgeführt werden, was relativ viel Zeit kostet. Darüberhinaus lassen sich bei der besagten Kalibrierung Reibungseinflüsse nur in lotrecht auf den Kalibrierkörper wirkender Richtung berücksichtigen.

Hiervon ausgehend liegt unserer Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Kalibrierverfahren und ein entsprechendes Koordinatenmeßgerät anzugeben.

Die Aufgabe wird gemäß den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche 1 und 11 gelöst.

Der Grundgedanke unserer Erfindung ist hierbei darin zu sehen, daß zumindest Teile der Oberfläche des Kalibrierkörpers kontinuierlich durch den Taster entlang einer Linie abgetastet werden, wobei die Linie derart ausgestaltet ist, daß sie nicht auf eine Ebene beschränkt ist. Dies hat eine Reihe von besonderen Vorteilen. So ergibt sich hierdurch ein erheblicher Zeitvorteil, da auf dem Kalibrierkörper eine Vielzahl von zur Kalibrierung notwendigen Meßpunkten aufgenommen werden können, ohne ständig mit dem Taster die Oberfläche des Kalibrierkörpers verlassen und wieder neu antasten zu müssen. Darüber hinaus kann die Oberfläche des Kalibrierkörpers unter denselben Meßbedingungen abgetastet werden, wie dies hinterher bei der kontinuierlichen Abtastung von zu vermessenden Werkstücken geschieht, so daß unmittelbar im Zuge der Kalibrierung Einflüsse, wie beispielsweise Reibung, bei der Meßwertaufnahme mitberücksichtigt werden können.

Aus der DE 44 34 014 A1 ist zwar bereits ein Kalibrierverfahren bekannt, bei dem ein Kalibrierkörper kontinuierlich abgetastet wird. Hierbei handelt es sich jedoch um ein manuell geführtes Koordinatenmeßgerät. Insbesondere vermag das Koordinatenmeßgerät deshalb nicht selbsttätig eine Bahn abzufahren. Außerdem wird der Kalibrierkörper hierbei nur entlang einer Linie abgetastet, die in einer Ebene liegt.

Aus der DE 44 36 507 A1 und der EP 769 677 A2 ist es ferner bekannt, die Biegung einzelner Komponenten eines Koordinatenmeßgerätes, die durch die auf die Komponenten

wirkenden Kräfte verursacht wird, zu bestimmen, indem mit dem Taster des Koordinatenmeßgerätes ein Leerring oder der Äquator einer Kalibrierkugel abgetastet wird. Hierzu ist zu sagen, daß es sich zunächst einmal hierbei nicht um eine Kalibrierung des Tasters im Sinne der Erfindung handelt, da nicht die Lage des Mittelpunktes und der Radius der Tastkugel bzw. der Tastscheibe bestimmt wird. Außerdem wird der Leerring bzw. der Äquator der Kalibrierkugel immer nur entlang einer Linie abgetastet, die in einer Ebene liegt.

Bei dem elektronisch gesteuerten Koordinatenmeßgerät kann es sich hierbei um die unterschiedlichsten Varianten handeln. Es kann beispielsweise ein sogenanntes Ständermeßgerät sein. Bei derartigen Ständermeßgeräten ist ein in einer horizontalen Richtung verschieblich gelagerter, vertikal ausgerichteter Ständer vorgesehen, an dem in vertikaler Richtung ein sogenannter Kreuzschieber verschoben werden kann. An dem besagten Kreuzschieber ist seinerseits ein horizontal ausgerichteter Meßarm in einer dritten Meßrichtung verschieblich gelagert, wobei am Ende des Meßarms der Tastkopf mit dem zu kalibrierenden Taster befestigt ist.

Eine andere Ausführungsvariante könnte ein Koordinatenmeßgerät vom sogenannten Portaltyp sein, bei dem ein horizontal verschiebliches Portal einen Meßtisch überspannt, auf dem das zu vermessende Werkstück angeordnet ist. Im überspannenden Bereich des Portals ist ein sogenannter Pinolenträger entlang des überspannenden Bereiches verschieblich gelagert, wobei der Pinolenträger seinerseits eine vertikal ausgerichtete Pinole in vertikaler Richtung verschieblich lagert. Am unteren Ende der Pinole ist ein Tastkopf mit dem daran befestigten Taster angeordnet.

Auch als Taster kommen die unterschiedlichsten Varianten in Frage. So können beispielsweise Taster mit einer Tastkugel als Antastkörper oder mit einer Scheibe als Antastkörper vorgesehen werden. Darüber hinaus können selbstverständlich die Durchmesser der Tastkugel bzw. der Tastscheibe variieren oder auch die Position der Tastkugel bzw. der Tastscheibe gegenüber dem Tastkopf unterschiedlich ausgestaltet sein.

Auch als Kalibrierkörper kommen hierbei die unterschiedlichsten Varianten in Betracht. So könnte als Kalibrierkörper beispielsweise ein quaderförmiger Block vorgesehen werden, bei dem unterschiedliche Flächen angetastet werden. Besonders vorteilhaft ist jedoch wenn der abgetastete Kalibrierkörper kugelförmig ausgebildet ist. Ein solcher Kalibrierkörper weist nämlich den erheblichen Vorteil auf, daß der Taster die Oberfläche des Kalibrierkörpers in nahezu jeder beliebigen Antastrichtung antasten kann. Darüber hinaus läßt sich ein derartiger Kalibrierkörper sehr einfach kontinuierlich abtasten, da der Kalibrierkörper keinerlei Kanten aufweist und somit beim kontinuierlichen Abtasten der Oberfläche des Kalibrierkörpers keinerlei abrupte Richtungswechsel notwendig sind. Außerdem handelt es sich hierbei um Standardformkörper, wie sie bereits bei der herkömmlichen antastenden Kalibrierung von Tastern verwendet wurden.

Insbesondere die Linie entlang derer der Kalibrierkörper abgetastet wird kann hierbei unterschiedlich sein. Wird hierbei als Kalibrierkörper die besagte beispielhafte Kugel verwendet, so könnte beispielsweise in einer Vielzahl von halbkreisförmigen Teillinien, die gegeneinander versetzt sind, der Kalibrierkörper ausgehend vom Äquator aus über den Pol bis zum Äquator auf der gegenüberliegenden Seite vom Taster abgetastet werden.

Bei der eben beschriebenen Linie entlang derer der Kalibrierkörper abgetastet wird muß der Taster, nachdem er den Kalibrierkörper abgetastet hat, von der Oberfläche des Kalibrierkörpers, abgehoben werden und erneut an einer anderen Stelle aufgesetzt werden, was einige Zeit kostet. Es ist des-

halb vorteilhaft, wenn der Taster den Kalibrierkörper derart entlang einer Linie abtastet, daß alle Meßwerte ohne Abheben des Tasters von und erneutes Aufsetzen auf die Oberfläche des Kalibrierkörpers des Tasters aufgenommen werden können, so daß die Meßwerte in einem Zug aufgenommen werden.

Dies kann beispielhaft bezogen auf eine Kugel als Kalibrierkörper dadurch geschehen, indem der Taster zwischen den oben beschriebenen halbkreisförmigen abzutastenden Teillinien auf dem Äquator bewegt wird.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß als Pol der Kalibrierkugel hierbei der oberste Punkt der Kugel (11) bezeichnet ist und als Äquator der Schnitt der Kugeloberfläche mit einer durch den Mittelpunkt der Kugel (11) gehenden Horizontalebene.

Die eben beschriebene Weiterbildung des Antastvorganges weist jedoch die Besonderheit auf, daß hierbei trotzdem rechtwinklige abrupte Richtungswechsel erforderlich sind, so daß für den besagten Richtungswechsel der Tastkopf immer noch nahezu vollständig angehalten werden muß, was trotzdem noch Zeit kostet.

In einer besonders vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens wird die Tastkugel derart entlang einer Linie über die Oberfläche des Kalibrierkörpers bewegt, so daß in der Linie keine rechtwinkligen Knicke vorliegen. Dies hat den besonderen Vorteil, daß die gesamte Linie ohne Anhalten des Tastkopfes abgetastet wird, da er nicht, wie bei rechtwinkligen Richtungsänderungen bzw. Knicken zwangsläufig notwendig, angehalten werden muß, um die Richtungsänderung exakt vornehmen zu können. Es versteht sich hierbei von alleine, daß die Formulierung "die gesamte Linie ohne Anhalten des Tastkopfes abgetastet wird" natürlich nicht den Startpunkt und den Endpunkt der Linie beinhaltet, auf denen der Tastkopf natürlich üblicherweise angehalten werden wird, um auf das Werkstück aufzusetzen oder vom Werkstück abzuheben.

Wird hierbei eine Kugel als Kalibrierkörper verwendet, so könnte die Linie so aussehen, daß der Taster ausgehend vom Äquator in einer aufsteigenden Spirale bis hin zum Pol bewegt und ausgehend vom Pol in einer absteigenden Spirale wieder zurück bis zum Äquator bewegt wird.

Um bei dem Meßvorgang gleichzeitig auch die entstehenden Meßfehler mitzubersichtigen, können hierbei eine Reihe von Maßnahmen vorgesehen werden. So könnte der Taster während des kontinuierlichen Abtastens entlang der Linie mit unterschiedlichen Antastkräften beaufschlagt werden, um hierbei den Einfluß der Antastkraft auf das Meßergebnis der Kalibrierung zu verifizieren. Besonders vorteilhaft kann jedoch während eines Abtastvorganges die auf den Taster wirkende Meßkraft dynamisch verändert werden, so daß die Abhängigkeit des Kalibrierwertes von der Antastkraft in einer definierten Richtung als kontinuierliche Funktion aufgezeichnet werden kann. D.h. daß somit die Biegung des Tasters ermittelt und korrigiert werden kann.

Gleichfalls ist es auch möglich, die sich ergebenden Abweichungen aufgrund der Reibung der Tastkugel auf der Oberfläche des Kalibrierkörpers dadurch zu bestimmen, indem der Kalibrierkörper zumindest Abschnitte der Linie in beiden möglichen Richtungen abtastet. Beispielsweise könnte hierzu der Äquator zunächst im Uhrzeigersinn abgetastet werden und danach der Äquator entgegen dem Uhrzeigersinn abgetastet werden.

Die Ermittlung der dem Taster zugeordneten Kalibrierdaten erfolgt dann wie folgt. Der Tastkopf wird entsprechend besagter Bahn verfahren. Beim Verfahren werden hierbei während des Abtastens des Kalibrierkörpers mit dem Taster die Meßwerte aufgenommen, aus denen unter Kenntnis der Geometrie des Kalibrierkörpers die besagten, dem Taster

zugeordneten Kalibrierdaten ermitteln lassen. Dies sind bezogen auf den Taster die Position des Mittelpunktes der Tastkugel oder der Tastscheibe im Maschinenkoordinatensystem oder ihr Radius.

Weitere Vorteile und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Figuren.

Hierin zeigen:

Fig. 1 ein Koordinatenmeßgerät vom sogenannten Portaltyp, bei dem ein Taster an einem hierbei beispielhaft als Kugel ausgebildeten Kalibrierkörper kalibriert wird;

Fig. 2a und 2b Taster eines Koordinatenmeßgerätes gemäß Fig. 1 mit unterschiedlicher Geometrie;

Fig. 3 ein kugelförmiger Kalibrierkörper, auf der die Linie, bzw. die Teillinien entlang derer der Kalibrierkörper abgetastet wird gemäß eines ersten Ausführungsbeispiels eingezeichnet ist;

Fig. 4 eine Weiterbildung der Linie gemäß Fig. 3, bei der der Taster zusätzlich entlang dem Äquator der Kugel bewegt wird;

Fig. 5a und 5b eine zweite Ausführungsvariante einer Linie, entlang derer ein Kalibrierkörper abgetastet wird, bei der der Taster spiralförmig entlang einer Kalibrierkugel verfahren wird;

Fig. 6 eine Weiterbildung der Linie gemäß Fig. 5a, 5b, bei dem der Taster abschnittsweise entlang derselben Linie in entgegengesetzten Richtungen bewegt wird;

Fig. 7 eine alternative Variante der Linie gemäß Fig. 4, bei der der Taster während des Abtastens nicht von der Oberfläche des Kalibrierkörpers abgehoben werden muß.

Fig. 1 zeigt ein Koordinatenmeßgerät, mit dem das erfindungsgemäße Verfahren durchgeführt werden kann. Wie hierin zu sehen, weist das Koordinatenmeßgerät einen Meßtisch (1) auf, auf dem ein zu vermessendes Werkstück angeordnet werden kann. Auf dem Meßtisch (1) ist hierbei in Richtung des Pfeiles (Y) ein Portal (2) verschieblich gelagert. Dazu weist der Meßtisch (1) hier nicht näher gezeigte Führungen auf, auf denen das Portal (2) bewegt wird, sowie einen ebenfalls nicht näher gezeigten Antrieb, z. B. einen Reibradantrieb sowie einen Maßstab, über den durch einen am Portal (2) angebrachten optischen Abtastkopf die Verschiebung in Richtung (Y) gemessen werden kann. Mit demselben Antrieb und Meßaufbau ist auf dem Querträger (2a) des Portals (2) ein Pinolenträger (3) in Richtung des Pfeiles (X) verschieblich gelagert sowie an dem Pinolenträger (3) in Richtung des Pfeiles (Z) eine Pinole (4) beweglich gelagert, so daß der am unteren Ende der Pinole (4) befestigte messende Tastkopf in allen drei aufeinander senkrecht stehenden Meßrichtungen (X, Y, Z) bewegt werden kann und seine Position im Maschinenkoordinatensystem über besagte Maßstäbe bestimmt werden kann. An besagten messenden Tastkopf (5) ist hierbei beispielhaft ein Taster (6) befestigt, der gegenüber dem Tastkopf (5) ebenfalls in den drei aufeinander senkrechtstehenden Meßrichtungen (X, Y, Z) bewegt werden kann, wobei im messenden Tastkopf (5) hierzu Meßwertaufnehmer vorhanden sind, die eine Auslenkung des Tasters (6) aus seiner Ruhelage heraus erfassen. Außerdem kann der Taster (6) über eine Meßkrafteinheit mit einer üblicherweise lotrecht auf die Werkstückoberfläche weisenden Meßkraft beaufschlagt werden. Um die Meßkraft zu erzeugen umfaßt die Meßkrafteinheit hierbei üblicherweise sogenannte Meßkraftgeneratoren, die eine einstellbare Meßkraft erzeugen oder aber Federn, so daß bei Auslenkung des Tasters aus seiner Ruhelage eine entgegengesetzte Meßkraft erzeugt wird.

Die Steuerung des Koordinatenmeßgerätes umfaßt somit neben einem Steuerschrank (7), in dem die zur Steuerung des Koordinatenmeßgerätes notwendige Firmware untergebracht ist, einen Auswerterechner (8), der mit dem Steuer-

schränk (7) in Verbindung steht, die besagten Antriebe, die Maßstäbe mit den zugehörigen optischen Abtastköpfen, die Meßwertaufnehmer zur Erfassung der Tasterauslenkung sowie die besagte Meßkrafteinheit.

Wie bereits oben ausgeführt, ist der Taster (6) über eine hier nicht näher beschriebene Wechselhalterung auswechselbar am Tastkopf (5) befestigt, wobei der Taster (6) hierbei unterschiedlichste Formen aufweisen kann. Die Fig. 2a und 2b zeigen hierbei vollkommen beispielhaft mögliche Taster (6), die auswechselbar am Tastkopf (5) des Koordinatenmeßgerätes befestigt werden können. Die Taster (6) weisen hierbei einen Schaft (14) auf, an dessen tastkopfseitigem Ende ein sogenannter Tasterteller (13) befestigt ist. Der Tasterteller (13) ist hierbei üblicherweise zylindrisch aus einem ferromagnetischen Material ausgeführt, das von einem in der Tasterwechselhalterung befindlichem Magneten angezogen werden kann und weist drei sternförmig jeweils in einem Winkel von 120° versetzt gegeneinander angeordnete Kugelpaare (15a, 15b, 16a, 16b und 17a, 17b) auf, die jeweils auf entsprechend zugeordneten zylindrischen Rollen auf der im Tastkopf (5) befindlichen Tasterwechselhalterung aufliegen. Am antastseitigen Ende des Tasters (6) befindet sich eine bzw. wie in Fig. 2b gezeigt, mehrere Tastkugeln (12), mit denen das zu vermessende Werkstück abgetastet wird. Anstelle der Tastkugel kann sich hierbei am Ende des Schafts (14) selbstverständlich auch gleichfalls eine Tastscheibe befinden.

Damit nun mit dieser Vielzahl an unterschiedlichen möglichen Tastern ein zu vermessendes Werkstück vermessen werden kann, muß im Koordinatenmeßgerät die genaue Position des Mittelpunktes (M) der Tastkugel (12) oder einer Tastscheibe im Maschinensystem bzw. gegenüber einem definierten Bezugspunkt im Tastkopf (5) sowie der Radius der Tastkugel (12) oder der Tastscheibe bekannt sein, da nur so mit dem Koordinatenmeßgerät Messungen durchgeführt werden können. Ist die Position des besagten Mittelpunktes (M) und der Radius hierbei nicht bekannt, so kann verständlicherweise auch vom Koordinatenmeßgerät nicht bestimmt werden, wo die Tastkugel das zu vermessende Werkstück berührt.

Zur Bestimmung der Position des Mittelpunktes (M) im Maschinenkoordinatensystem wird zunächst der zu kalibrierende Taster (6) über die besagte, hier nicht näher gezeigte Tasterwechselhalterung am Tastkopf (5) befestigt, wobei nunmehr in einem ersten Vorgang die Lage des Kalibrierkörpers (11) gegenüber der Tastkugel bestimmt wird. Dazu wird über eine manuelle Steuerung des Koordinatenmeßgerätes der Tastkopf (5) so lange durch die oben bezeichneten Antriebe des Koordinatenmeßgerätes verfahren, bis die betreffende Tastkugel (12) an einem fest definierten Bezugspunkt des Kalibrierkörpers, hier beispielhaft dem Pol (P) des hier als Kugel ausgebildeten Kalibrierkörpers (11), aufliegt. Zur manuellen Steuerung wird hierbei üblicherweise ein nicht näher gezeigter Betätigungshebel, der ähnlich wie ein Joystick ausgebildet ist, in den drei Achsen verfahren. Es sei an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen, daß der Kalibrierkörper (11) hier nur beispielhaft als Kugel ausgeführt ist. Selbstverständlich können auch andere geometrische Formen, wie beispielsweise Quader, elliptisch ausgebildete Körper oder Zylinder verwendet werden.

In einem nächsten Schritt wird eine abzufahrende Bahn, entlang derer der Tastkopfverfahren werden soll, auf Basis der Lage des Kalibrierkörpers im Koordinatenmeßgerät ermittelt. Dies ist möglich, da der Kalibrierkörper (11) dem Koordinatenmeßgerät genau bekannte äußere Abmessungen aufweist, so daß ausgehend vom eingemessenen Bezugspunkt jeder Punkt auf der Oberfläche des Kalibrierkörpers bestimmbar ist. Die Bahn wird hierbei derart ermittelt, daß

beim Verfahren des Tastkopfes entlang der Bahn zumindest Teile der Oberfläche des Kalibrierkörpers kontinuierlich durch den Taster entlang einer Linie abgetastet werden, wobei die Linie nicht auf eine Ebene beschränkt ist.

In einem nächsten Schritt wird der Tastkopf (5) mit dem hieran befestigten Taster (6) entsprechend der vorberechneten Bahn bewegt, so daß hierbei der Kalibrierkörper (11) kontinuierlich entlang der besagten Linie abgetastet wird. Bei diesem kontinuierlichen Abtastvorgang werden hierbei die entsprechenden Meßwerte der Tasterauslenkung des Tasters (6) gegenüber dem Tastkopf (5) sowie auch die exakte Position des Tastkopfes (5) im Koordinatenmeßgerät, die im folgenden als Maschinenposition bezeichnet werden, gemessen. Aus diesen Meßwerten werden dann unter Kenntnis der Geometrie des Kalibrierkörpers die dem Taster zugeordneten Kalibrierdaten ermittelt, wobei dies in diesem speziellen Ausführungsbeispiel die Mittelpunkte (M) und die Radien der Tastkugeln (12) sind.

Die konkreten Linien, entlang derer die Taster über den Kalibrierkörper bewegt werden, soll nunmehr rein beispielhaft in einer schematischen Darstellung anhand von den Fig. 3 bis 7 mit einer Kugel (11) als Kalibrierkörper dargestellt werden.

In einer einfachen Ausführung einer solchen Linie nach Fig. 3, die hierbei aus vielen Teillinien (17a, b, c, d, e) zusammengesetzt ist, wird hierbei die Tastkugel (12) zunächst auf der Rückseite am Äquator, der hier mit (A) bezeichnet ist, in einem beliebigen Punkt plazierte. Von hier ausgehend, wird die Tastkugel kontinuierlich entlang der Teillinie (17a) in Richtung Pol (P), der hier mit (P) bezeichnet ist, geführt und von hier wieder bis zum Äquator (A) geführt. Die besagte Teillinie (17a) ist hierbei so angelegt, daß sie in einer vertikalen, den Pol (P) schneidenden Ebene geführt ist. Nachdem die Tastkugel am Äquator angekommen ist, wird diese von der Oberfläche des Kalibrierkörpers (11) entfernt und leicht versetzt zu der ersten Teillinie (17a) wieder am Äquator aufgesetzt. Die Tastkugel (12) fährt hierbei wieder ausgehend vom Äquator (A) diesmal von der Vorderseite der Tastkugel ausgehend in einem Zug über dem Pol (P) auf die Rückseite entlang der Teillinie (17b) bis zum Äquator (A). Hier wird die Tastkugel (12) wieder abgehoben, am Äquator (A) am Einstiegspunkt der Teillinie (17c) positioniert und von hier aus wieder unmittelbar über den Pol (P) zum Äquator verfahren usw. Da die Geometrie und Lage des Kalibrierkörpers bekannt sind, kann nunmehr aus den gemessenen Meßwerten die Position des Mittelpunktes (M) der Tastkugel (12) und ihr Radius errechnet werden. Die Linie weist somit also eine Vielzahl von Teillinien auf, die sich beim Schnitt von vertikalen Ebenen mit der Kugeloberfläche ergeben, wobei die Teillinien alle den Pol schneiden.

Fig. 4 zeigt hierbei eine vorteilhafte Weiterbildung der Linie gemäß Fig. 3, bei der allerdings zwischen den abzufahrenden Teillinien (17a, b, c, d, e) die Tastkugel nicht extra von der Oberfläche des Kalibrierkörpers abgehoben wird, sondern die Tastkugel vom Ende einer abgefahrenen Teillinie (17a, b, c, d, e) bis zum Anfang einer neuen Teillinie (17a, b, c, d, e) auf dem Äquator (A) verfahren wird. Darüber hinaus wird vor oder nach dem Abtasten der Linie (17a, b, c, d, e) außerdem der gesamte Äquator entlang der Teillinie (18) vermessen.

Damit weist die Linie zusätzlich wenigstens eine Teillinie auf, die sich beim Schnitt einer horizontalen Ebene mit der Kugeloberfläche ergibt, wobei die Teillinie dem Äquator der Kugel entspricht.

Fig. 7 zeigt eine andere Ausführungsform einer Linie (20a, b, 21a, b), bei der zwischen den abzufahrenden Teillinien (20a, b, 21a, b) die Tastkugel (12) nicht extra von der Oberfläche des Kalibrierkörpers abgehoben wird. Die Tast-

kugel (12) wird hierbei derart verfahren, daß zunächst die Teillinie (20a), also der Äquator (A) abgetastet wird. Danach werden jeweils ausgehend vom Äquator (A) bzw. der Teillinie (20a) die Teillinien (21a, 21b) abgetastet, sowie in einem dritten Schritt ausgehend von der Teillinie (20a) die Tastkugel (12) über die Teillinie (21a) bis zur Teillinie (20b) verfahren und diese daraufhin ebenfalls vollständig abgetastet.

Die Linie weist somit also eine Vielzahl von Teillinien auf, die sich beim Schnitt von vertikalen Ebenen mit der Kugeloberfläche ergeben, wobei die Teillinien allerdings nicht den Pol schneiden. Zusätzlich weist die Linie wenigstens zwei Teillinien auf, die sich beim Schnitt einer horizontalen Ebene mit der Kugeloberfläche ergeben, wobei die eine Teillinie dem Äquator der Kugel entspricht.

Das Abtasten des Kalibrierkörpers gemäß den Teillinien der Fig. 4 und 7 hat gegenüber dem Ausführungsbeispiel der Fig. 3 den besonderen Vorteil, daß der Taster (6) überhaupt nicht mehr von der Oberfläche des Kalibrierkörpers abgehoben werden muß und das Verfahren somit erheblich schneller ablaufen kann, als dies bei Fig. 3 möglich ist. Darüber hinaus stehen auch eine Vielzahl von Meßpunkten hinsichtlich des Äquators des Kalibrierkörpers zur Verfügung. Die in Fig. 4 und 7 dargestellten Ausführungsbeispiele weisen jedoch den Nachteil auf, daß am Startpunkt einer neuen Teillinie (17a, b, c, d, e bzw. 21a, 21b, 20b) ein rechtwinkliger abrupter Richtungswechsel vorgenommen werden muß. Um einen derartigen Richtungswechsel vornehmen zu können, muß hierbei der Tastkopf nahezu vollständig abgebremst werden, so daß ein derartiger Richtungswechsel Zeit kostet.

In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform wird die Linie deshalb derart vorgesehen, daß die Linie, entlang derer die Tastkugel (12) die Oberfläche des zu vermessenden Kalibrierkörpers (11) abtastet, keinerlei rechtwinklige Knicke aufweist.

Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, indem der Tastkopf bzw. die Tastkugel gemäß Fig. 5a, 5b entlang einer spiralförmigen Teillinie (19a) vom Äquator (A) aus zum Pol (P) geführt wird und vom Pol (P) aus in einer zweiten versetzt zur ersten spiralförmigen Teillinie angeordneten zweiten spiralförmigen Teillinie (19b) wieder zurück zum Äquator (A) bewegt wird.

Fig. 5b zeigt hierbei eine Aufsicht auf die in Fig. 5a gezeigte Seitenansicht des Kalibrierkörpers (11). Wie insbesondere aus Fig. 5b zu entnehmen ist, geht die spiralförmige Teillinie (19a) ohne rechtwinkligen Knick in die spiralförmige Teillinie (19b) am Pol (P) über.

Um die Auswirkungen der Meßkräfte, mit denen die Tastkugel lotrecht auf die Oberfläche des zu vermessenden Werkstückes gepreßt wird, auf die Meßergebnisse zu ermitteln, kann entweder die gesamte Linie oder Teile davon mehrfach nacheinander mit unterschiedlichen Meßkräften vermessen werden. Dies hat jedoch den Nachteil, daß auch ein solcher Meßvorgang Zeit beansprucht.

Besonders vorteilhaft kann deshalb die Meßkraft während des Ab tastens einer vorgegebenen Linie dynamisch variiert werden. Beispielsweise könnte die Meßkraft einer periodischen Funktion folgend abwechselnd stärker und schwächer vorgegeben werden, so daß hierdurch aus den betreffenden Meßergebnissen der Einfluß der Meßkraft auf die Meßergebnisse ausgewertet werden kann.

Darüber hinaus hat auf die Meßergebnisse selbstverständlich auch die Reibung einen Einfluß, die auf die Tastkugel eine der Bewegungsrichtung entgegengesetzte Reibungskraft ausübt. Es kann deshalb auch sinnvoll sein, die Linie oder Teile davon in beiden möglichen Bewegungsrichtungen abzutasten. Im einfachsten Fall kann es dadurch geschehen, indem zunächst die Linie oder ein Teil davon abgetastet

wird, sodann ein Richtungswechsel in die umgekehrte Richtung vorgenommen wird und dieselbe Linie bzw. ein Teil davon in der anderen Richtung nochmals abgetastet wird. Auch für den besagten Richtungswechsel gilt das bereits oben gesagte, daß der Tastkopf hierzu vollständig angehalten und in der entgegengesetzten Richtung angefahren werden muß. Besonders vorteilhaft ist es deshalb, die Abtastrichtung hierbei zu verändern, ohne einen entsprechenden Richtungswechsel von 180° vorzunehmen. Wie dies möglich ist, ist beispielhaft in Fig. 6 gezeigt. Fig. 6 zeigt eine Aufsicht auf den Kalibrierkörper (11). Wie hierin zu sehen ist, wird die Kugel zunächst in einer aufsteigenden spiralförmigen Teillinie (20) zum Pol des Kalibrierkörpers (11) verfahren, wo sie dann einen kleinen Schlenker macht, um wieder dieselbe spiralförmige Linie (20) in entgegengesetzter Richtung abwärts zu durchfahren. Damit erfolgt ein Richtungswechsel ohne Anhalten des Tastkopfes, so daß auch hier trotz Richtungswechsels die gesamte Linie ohne Anhalten des Tastkopfes abgetastet wird.

Es sei nunmehr am Schluß bemerkt, daß die Erfindung keineswegs auf die hier gezeigten Ausführungsbeispiele beschränkt ist und daß selbstverständlich auch Modifikationen der Ausführungsbeispiele möglich sind.

Beispielsweise wurde in den gezeigten Ausführungsbeispielen nur oberhalb des Äquators des Kalibrierkörpers gemessen. Natürlich ist es gleichfalls auch möglich unterhalb des Äquators zu messen, so daß dann bezogen auf die Ausführungsbeispiele alle in den in den Fig. 3 bis 7 gezeigten Linien auch unterhalb des Äquators beginnen bzw. weitergeführt werden können.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kalibrierung des Tasters (6) eines elektronisch gesteuerten Koordinatenmeßgerätes mit einem Kalibrierkörper (11) bekannter Geometrie umfassend nachfolgende Verfahrensschritte:

- Verfahren des Tastkopfes entlang einer Bahn derart, daß zumindest Teile der Oberfläche des Kalibrierkörpers kontinuierlich durch den Taster entlang einer Linie abgetastet werden, wobei die Linie derart ausgestaltet ist, daß sie nicht auf eine Ebene beschränkt ist
- Berechnen der dem Taster zugeordneten Kalibrierdaten aus den beim Abtasten aufgenommenen Meßwerten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei ein kugelförmiger Kalibrierkörper (11) abgetastet wird.

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1–2, wobei die besagte Linie keine rechtwinkligen Knicke aufweist.

4. Verfahren nach Ansprüchen 1–3, wobei der Taster wenigstens einzelne Abschnitte der Linie in beiden möglichen Richtungen abtastet.

5. Verfahren nach den Ansprüchen 1–4, wobei die Linie zumindest teilweise spiralförmig ausgebildet ist.

6. Verfahren nach Ansprüchen 1–5, wobei die Linie derart gewählt ist, daß alle Meßwerte ohne Abheben des Tasters von und erneutes Aufsetzen des Tasters auf der Oberfläche des Kalibrierkörpers aufgenommen werden können.

7. Verfahren nach Anspruch 1–7, wobei der Taster während des kontinuierlichen Ab tastens entlang der Linie mit unterschiedlichen Meßkräften beaufschlagt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei während des Ab tastvorganges die auf den Taster wirkende Meßkraft dynamisch verändert wird.

9. Verfahren nach Ansprüchen 1–8, wobei der Taster

die gesamte Linie ohne Anhalten des Tastkopfes abtastet.

10. Verfahren nach Ansprüchen 1–9, wobei die Kalibrierdaten die Position des Mittelpunktes einer Tastkugel oder einer Tastscheibe des Tasters im Maschinenkoordinatensystem und/oder der Radius einer Tastkugel oder einer Tastscheibe sind. 5

11. Koordinatenmeßgerät zur Vermessung eines Werkstückes mit

- einem messenden Tastkopf (5), an dem ein zu kalibrierender Taster (6) befestigt ist 10

- einem Kalibrierkörper (11), der der Kalibrierung des besagten Tasters dient

- einer Steuerung, 15

die den Tastkopf entlang einer Bahn derart verfährt, daß zumindest Teile der Oberfläche des Kalibrierkörpers kontinuierlich durch den Taster entlang einer Linie abgetastet werden, wobei die Linie derart ausgestaltet ist, daß sie nicht auf eine Ebene beschränkt ist 20

und die aus den beim Abtasten aufgenommenen Meßwerten die dem Taster zugeordneten Kalibrierdaten ermittelt.

12. Koordinatenmeßgerät nach Anspruch 11, wobei der Kalibrierkörper eine Kugel ist. 25

13. Koordinatenmeßgerät nach Ansprüchen 11 oder 12, wobei die Steuerung eine Meßkrafteinheit aufweist, die die Beaufschlagung des Tasters mit einer Meßkraft steuert.

14. Koordinatenmeßgerät nach Anspruch 13, wobei die Meßkrafteinheit den Taster während des kontinuierlichen Abtastens mit unterschiedlichen Meßkräften beaufschlagt. 30

15. Koordinatenmeßgerät nach den Ansprüchen 14, wobei die Meßkraft während des Abtastens dynamisch verändert wird. 35

16. Koordinatenmeßgerät nach den Ansprüchen 11–15, wobei die Steuerung derart ausgestaltet ist, daß die besagte Linie keine rechtwinkligen Knicke aufweist. 40

17. Koordinatenmeßgerät nach den Ansprüchen 11–16, wobei die Linie derart ausgestaltet ist, daß alle Meßwerte ohne Abheben des Tasters von und erneutes Aufsetzen des Tasters auf der Oberfläche des Kalibrierkörpers aufgenommen werden können. 45

18. Koordinatenmeßgerät nach den Ansprüchen 11–17, wobei die Steuerung derart ausgebildet ist, daß die Linie zumindest teilweise spiralförmig ausgebildet ist.

19. Koordinatenmeßgerät nach Anspruch 11–18, wobei die Steuerung derart ausgestaltet ist, daß der Taster wenigstens einzelne Abschnitte der Linie in beiden möglichen Richtungen abtastet. 50

20. Koordinatenmeßgerät nach Ansprüchen 11–19, wobei die Steuerung derart ausgestaltet ist, daß der Taster die gesamte Linie ohne Anhalten des Tastkopfes abtastet. 55

21. Koordinatenmeßgerät nach Ansprüchen 11–20, wobei die Kalibrierdaten die Position des Mittelpunktes einer Tastkugel oder einer Tastscheibe des Tasters im Maschinenkoordinatensystem und/oder der Radius einer Tastkugel oder einer Tastscheibe sind. 60

22. Koordinatenmeßgerät nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Linie eine Vielzahl von Teillinien aufweist, die sich beim Schnitt von vertikalen Ebenen mit der Kugeloberfläche ergeben. 65

23. Koordinatenmeßgerät nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Teillinien den Pol schneiden.

24. Koordinatenmeßgerät nach Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Linie zusätzlich wenigstens eine Teillinie aufweist, die sich beim Schnitt einer horizontalen Ebene mit der Kugeloberfläche ergibt.

25. Koordinatenmeßgerät nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Teillinie dem Äquator der Kugel entspricht.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

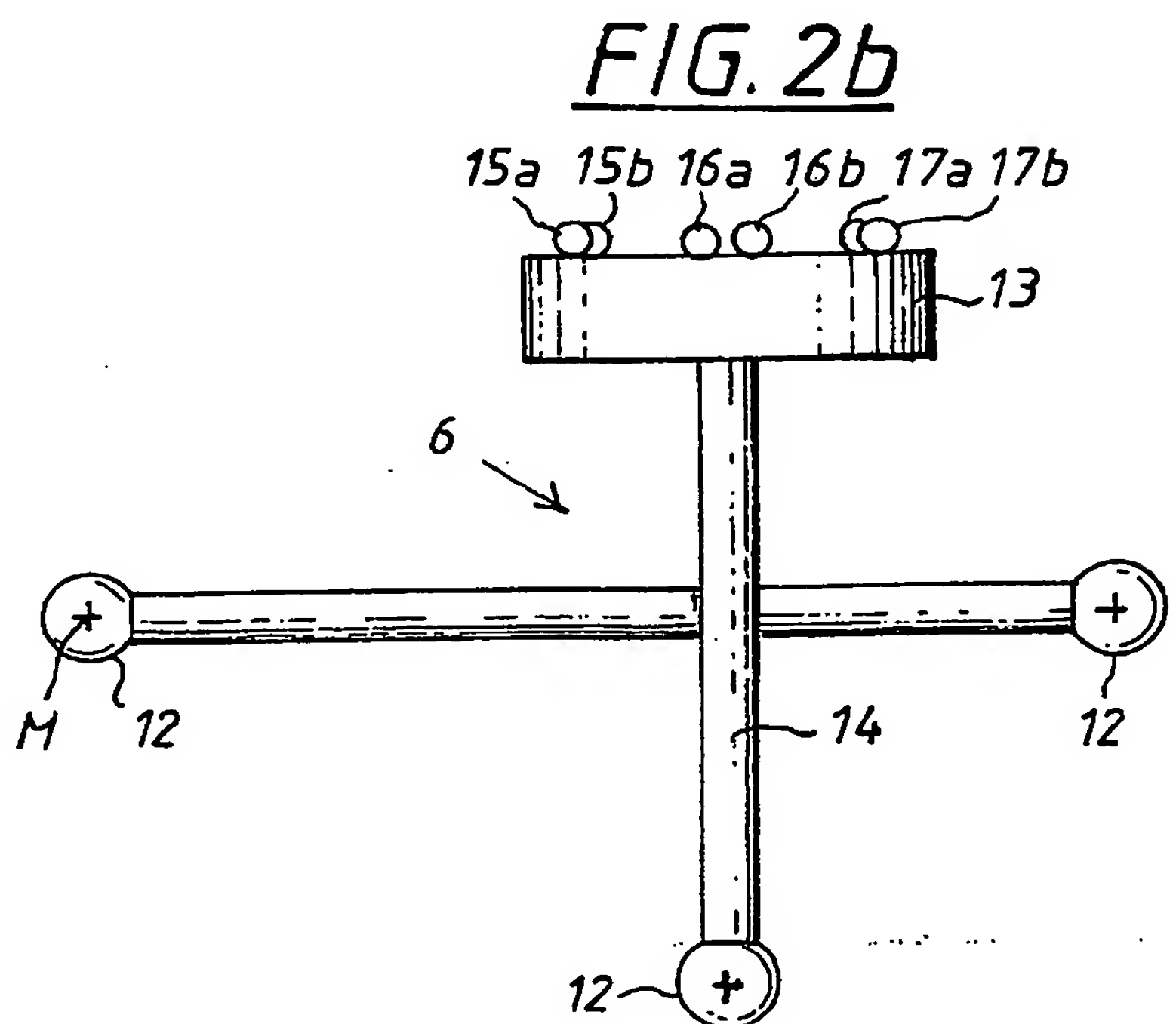
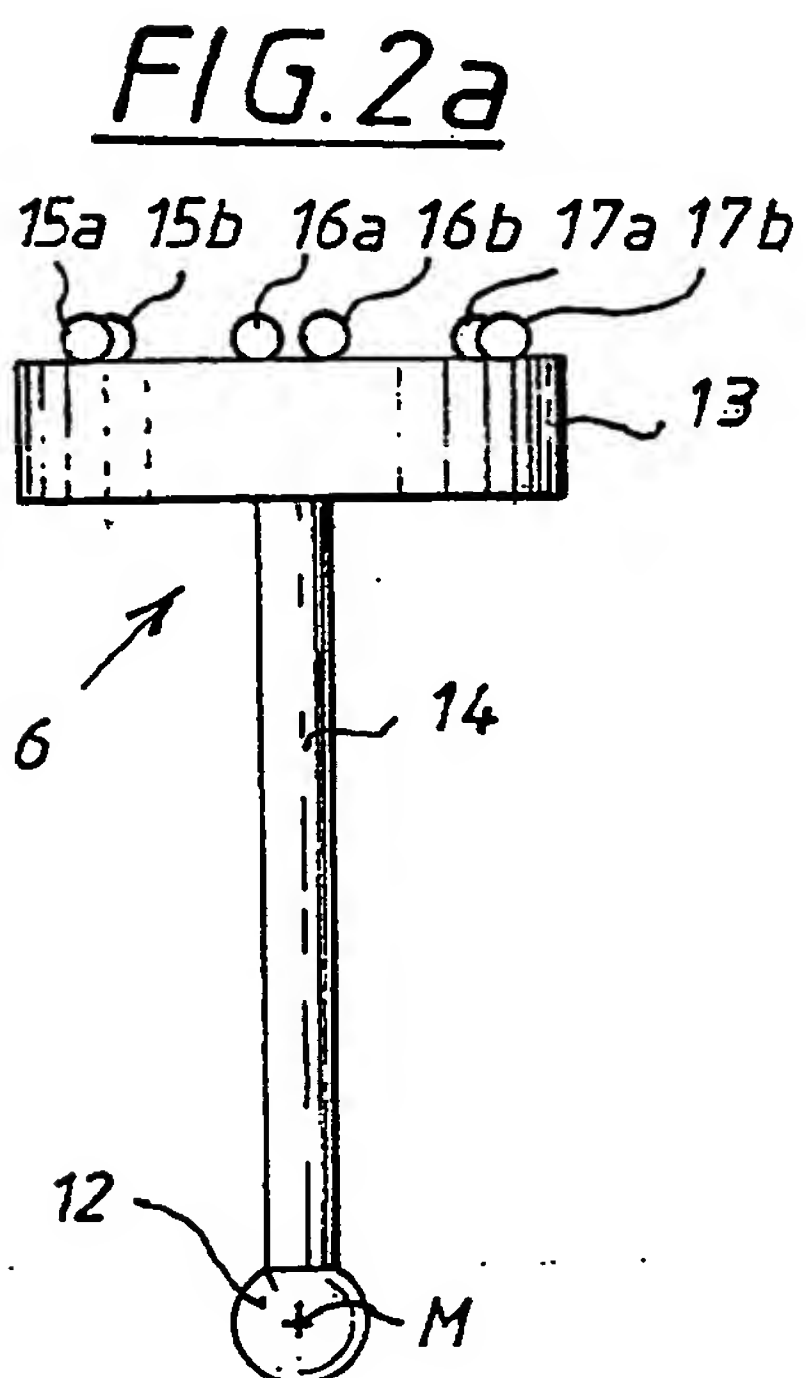
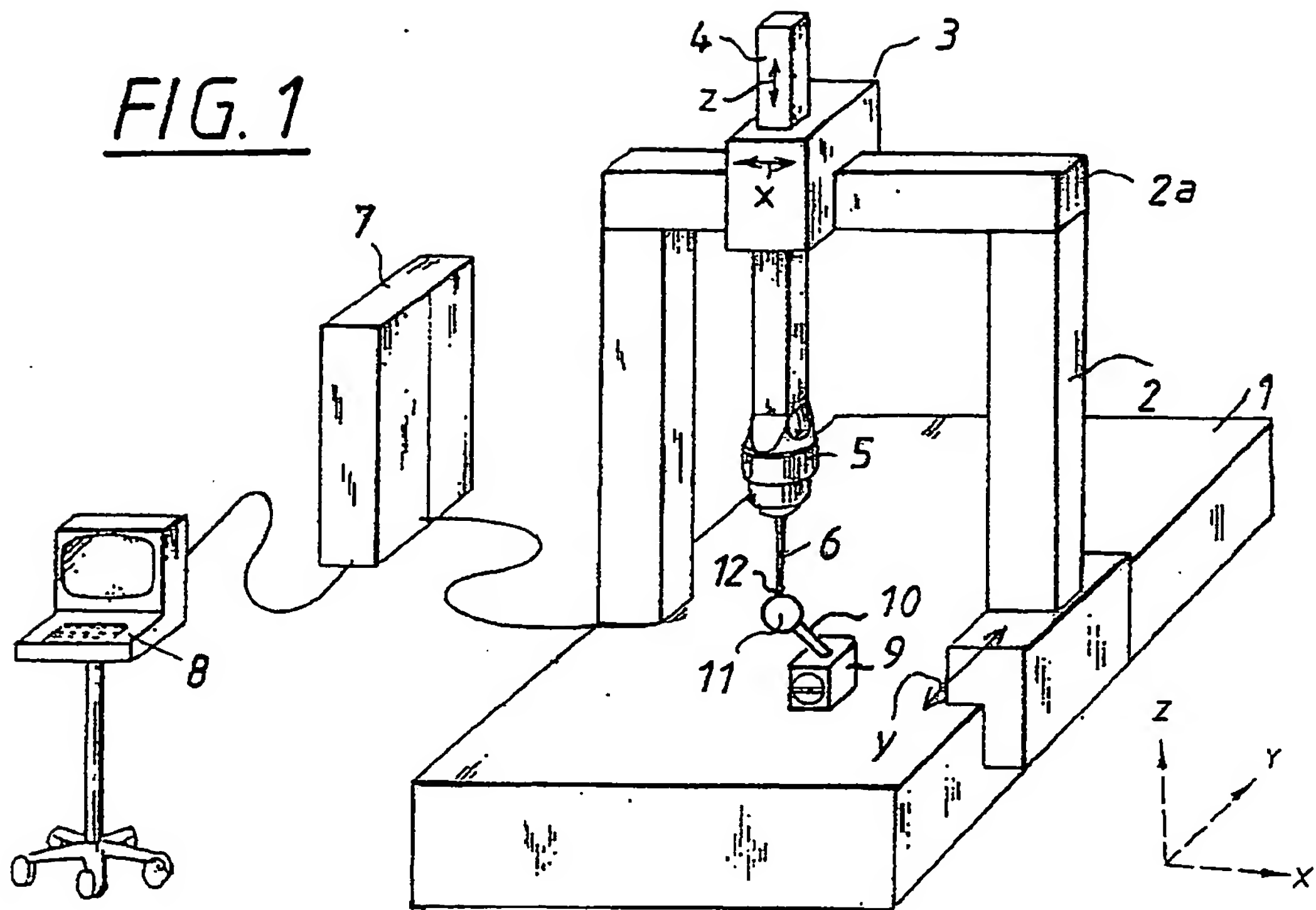


FIG. 3

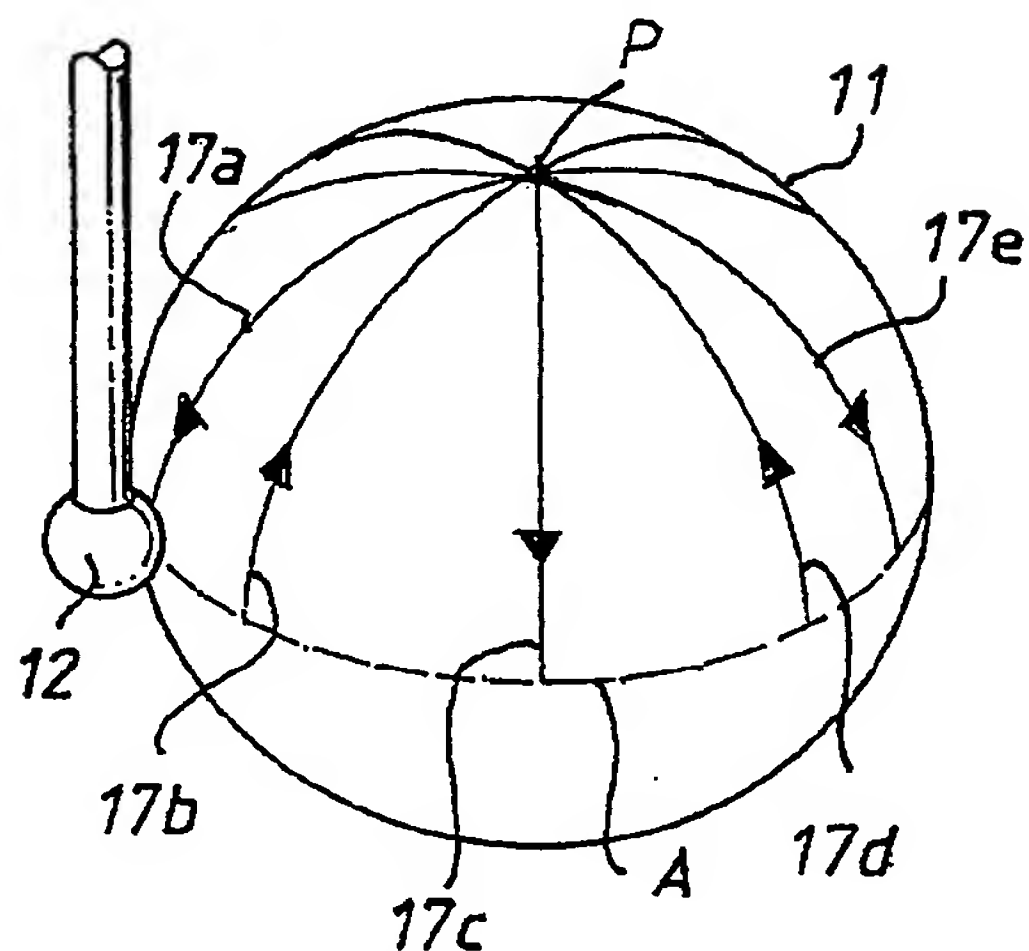


FIG. 4

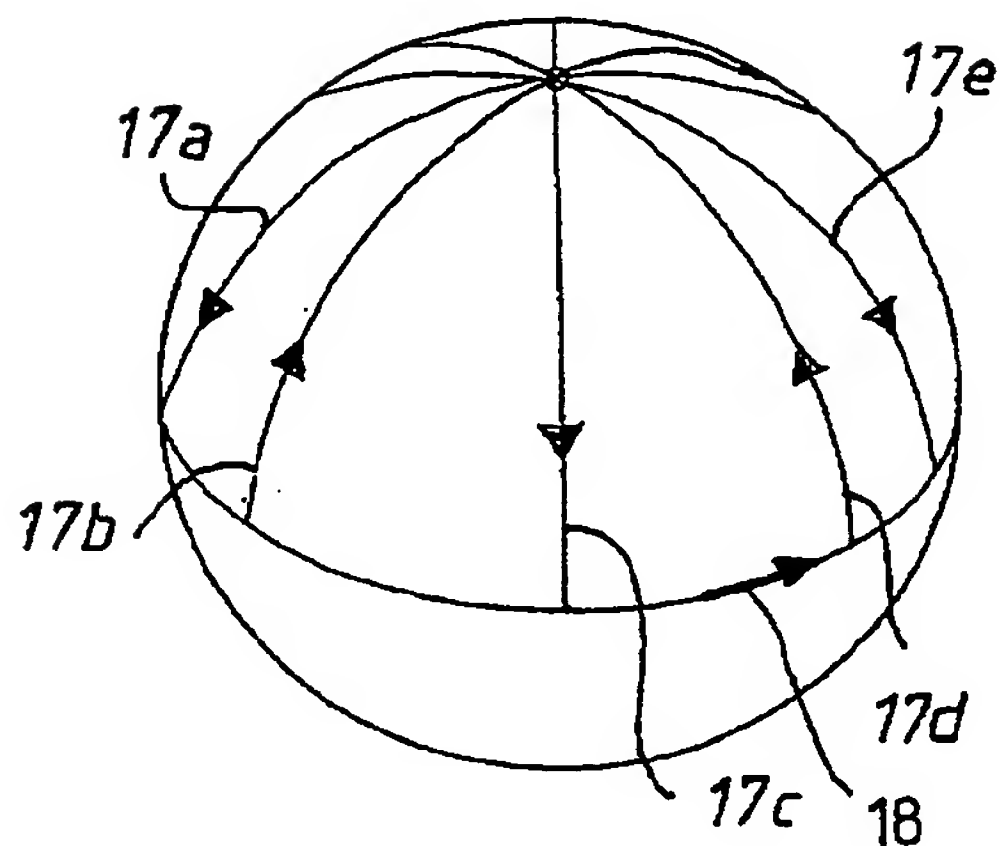


FIG. 5a

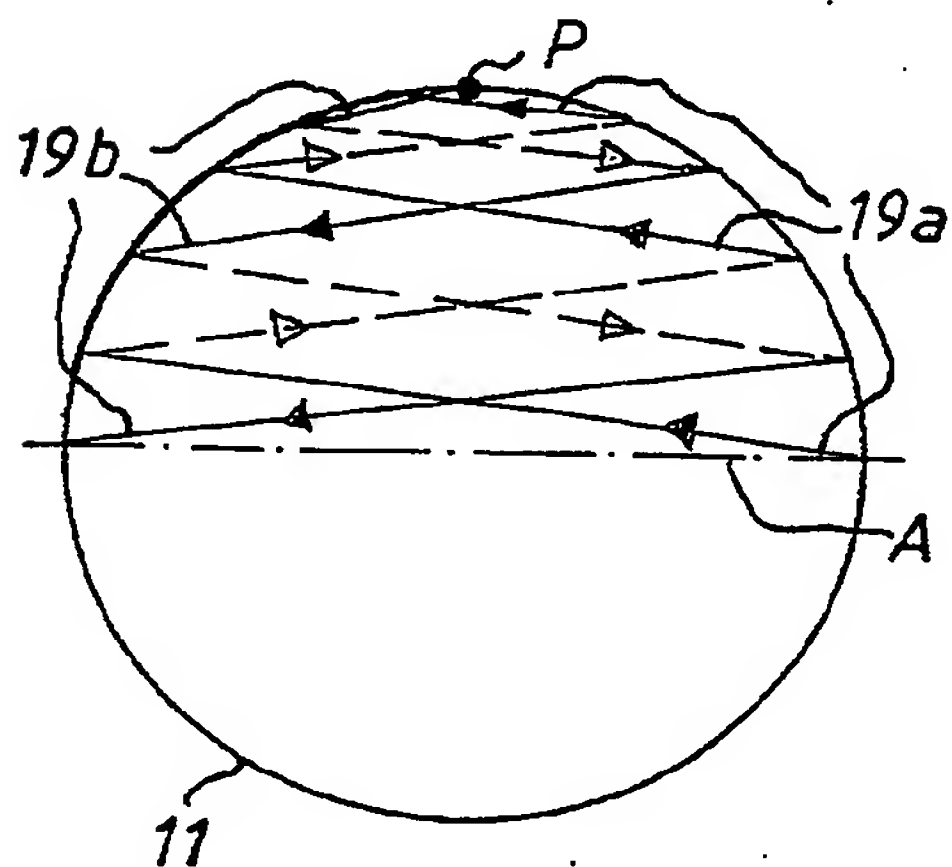


FIG. 5b

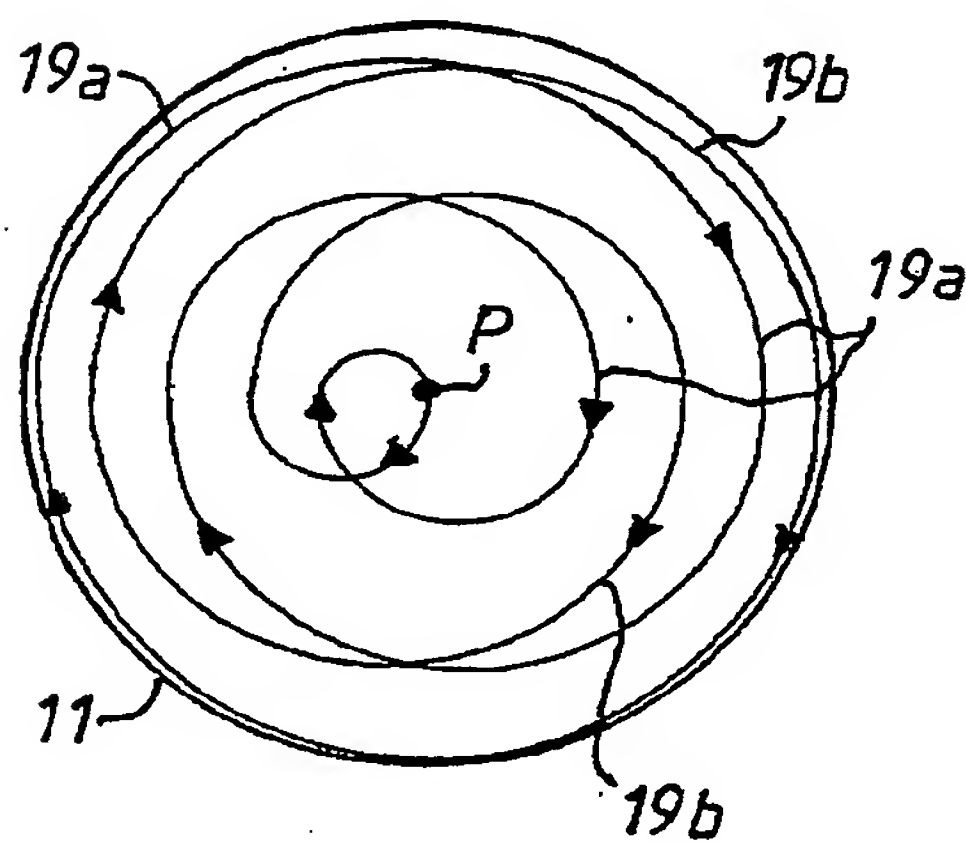


FIG. 6

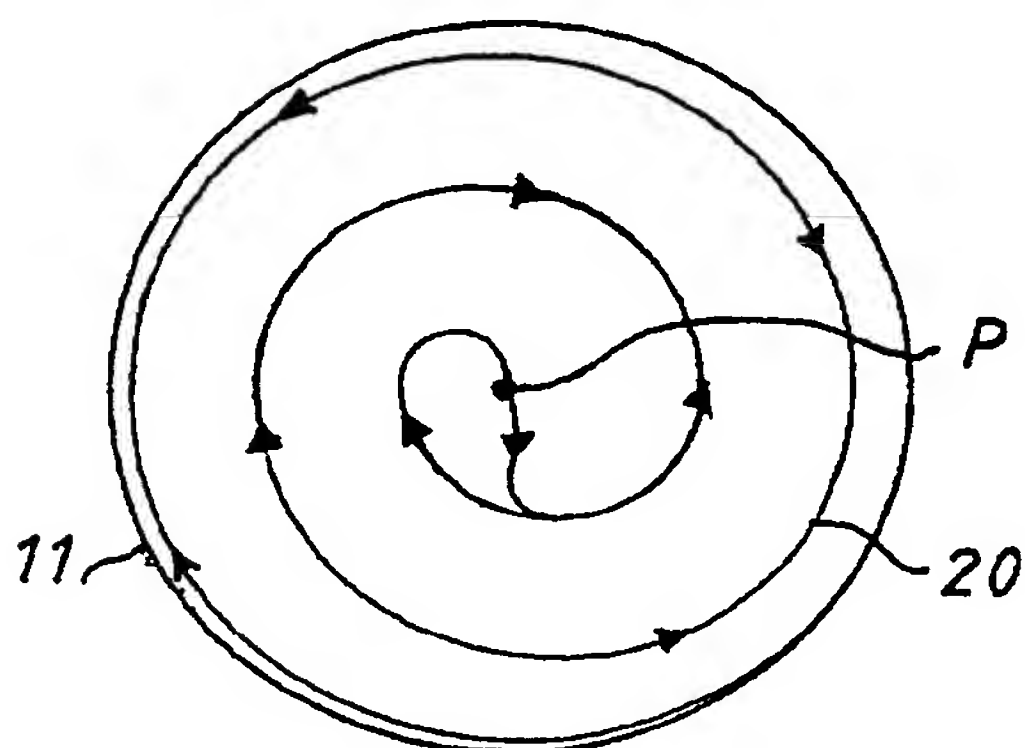
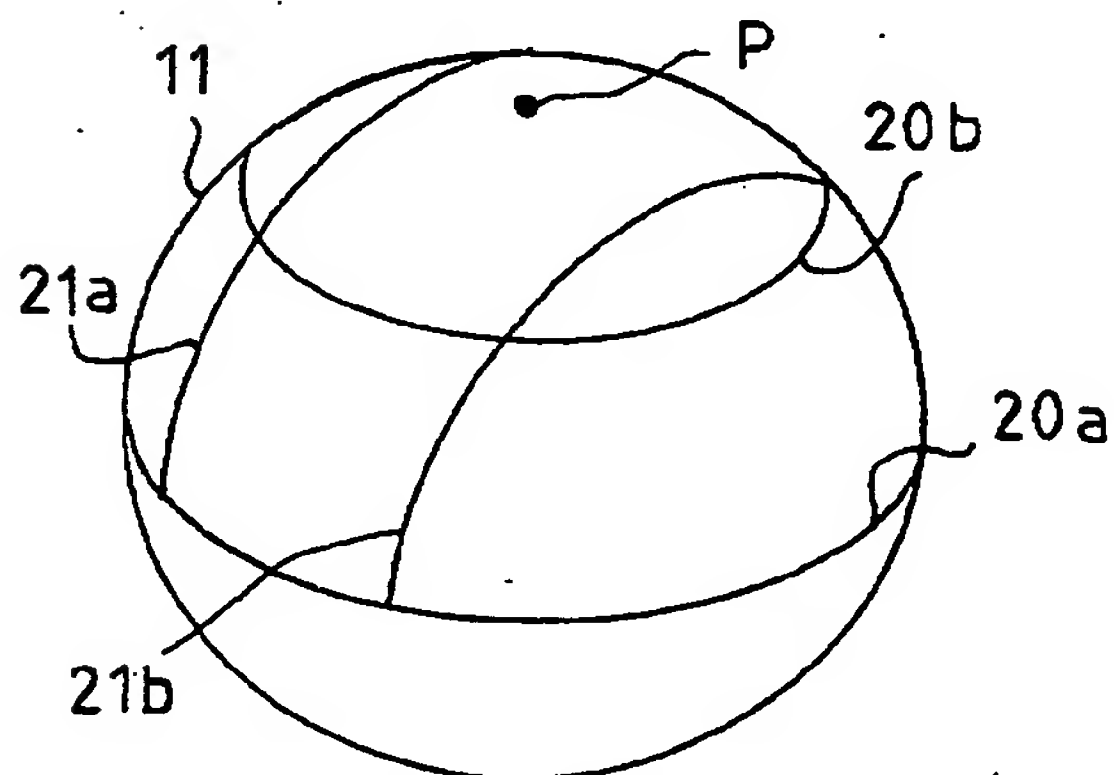


FIG. 7



1.
Description

The invention concerns a method for calibrating a sensor of an electronically controlled coordinate measuring device with a calibrating body and a coordinate measuring device with which the method in question is carried out.

Such methods are already sufficiently known from the state of the art, and are normally used to determine the centre and radius of the sensor sphere or disc attached to the end of the sensor in the machine frame of reference. The reason this is necessary is because the coordinate measuring devices used at present employ a large number of sensors of differing geometries, so that if a workpiece is to be surveyed properly, the precise geometry of the sensor concerned must be known.

To calibrate the sensor, a sphere is often used as the calibration body today, which is approached by the sensor to be calibrated at a number of different points. As the precise geometry of the sphere used as the calibration body is known, the measured values can then be used to determine the centre and radius of the sensor sphere or disc attached to the end of the sensor.

The calibration method used to date has a number of peculiar features. In the calibration method known to date, the sensor must approach the calibration body and be removed from it again once it has approached it. This procedure must be repeated for all points to be sensed, which is relatively time-consuming. With this calibration, also, the effects of friction can only be allowed for in the vertical plane relative to the calibration body.

In view of this, the problem of our invention is to provide an improved calibration process and a coordinate measuring device accordingly.

The problem is solved in accordance with the characteristics in independent claims 1 and 11.

The underlying principle of our invention is apparent from the fact that parts of the surface of the calibration body at least are sensed continuously by the sensor along a line, the line being designed in such a way that it is not limited to one plane. This has a number of particular advantages. It saves a considerable amount of time, as a large number of test points required for calibration purposes can be recorded on the calibration body without the sensor having to leave the surface of the calibration body and approach it again. Moreover, the surface of the calibration body can be sensed under the same test conditions as are used when continuously sensing workpieces to be measured, so that any factors directly in the course of the calibration, such as friction, for example, can be allowed for when recording measured values.

While a calibration method in which a calibration body is sensed continuously is already known from DE 44 34 014 A1, the coordinate measuring device in this case is operated manually. Because of this in particular, the coordinate measuring device is not capable of following a path of its own accord. Moreover, the calibration body is only sensed along a single line in a single plane.

From **DE 44 36 507 A1** and **EP 769 677 A2** it is known that the curve of the individual components of a coordinate measuring device which is caused by forces acting on those components can be determined by using the sensor of the coordinate measuring device to sense a learning curve around the equator of a calibration sphere. On this, it must be said that, in the first place, this does not amount to calibrating the sensor in the sense of the invention, as the position of the centre and the radius of the sphere or disc being sensed are not determined. Moreover, the learning curve or equator of the calibration sphere is only sensed along one line, which lies on a level.

The electronically controlled coordinate measuring device is possible in a number of versions. It could, for example, be what is called a stand measuring device. In such stand measuring devices, a vertical stand is used, capable of sliding horizontally, on which what is known as a cross slider can be moved in the vertical direction. On the said cross slider, in turn, a horizontal measuring arm is mounted which can be moved in a third axis of measurement, the sensor head with the sensor to be calibrated being attached to the end of the sensor arm.

Another embodiment might be a coordinate measuring device of what is known as the portal type, in which a horizontally sliding portal is arched over a measuring table on which the workpiece to be measured is arranged. In the arched section of the portal, what is known as a spindle carrier is mounted which can be slid along the arched section, the spindle carrier for its part holding a vertical spindle which can be moved in the vertical direction. At the lower end of the spindle, there is a sensor head with the sensor attached to it.

A wide variety of different sensors can also be used, such as sensors with a sensor sphere or disc as the body to be sensed. In addition, of course, the diameter of the sensor sphere or disc may vary, and the position of the sensor sphere or disc may vary relative to the sensor head.

The calibration body can also take a wide variety of forms: it could, for example, be a cuboid block, different surfaces of which are tested. It is particularly advantageous, however, if the calibration body to be sensed is in the shape of a sphere, because such a calibration body has a significant advantage, namely that the sensor can approach the surface of the calibration body from virtually any direction. Such a calibration body is also very easy to read continuously, as it does not have any edges, so no sudden changes of direction are necessary when reading the surface of the calibration body continuously. This is also a standard shape body, which is already used in calibrating sensors by the conventional method.

The line along which the calibration body is read can vary, in particular. If the sphere used as the example is used as the calibration body, readings could be taken in a large number of seem-circular arcs opposite to one another, the sensor reading the calibration body starting from the equator over the pole to the equator on the other side.

In the line as just described along which the calibration body is read, once the sensor has read the calibration body, it must be lifted from its surface and applied at another point, which takes some time. It is therefore advantageous if the sensor can read the calibration body along a line in such a way that all the readings can be taken without lifting the sensor from, and re-applying it to, the surface of the calibration body, so that the readings can be taken in a single pass.

This can be done if using a sphere as a calibration body, for example, by the sensor moving between the seem-circular arcs to be read as described above on the equator.

It may be noted at this point that the term 'pole' is used in this case to mean the topmost point of the sphere (11), and 'equator' to mean the section of the surface of the sphere in a horizontal plane passing through the centre of the sphere (11).

The peculiar feature of extrapolating the reading process as just described, however, is that it does nonetheless require sudden changes of direction through 90° , so that, when changing direction as described, the sensor head must be brought almost completely to a standstill, which also takes time.

In a particularly advantageous embodiment of the method, the sensor sphere is moved along a line over the surface of the calibration body so that there are no right-angle bends in the line. The particular advantage of this is that readings can be taken all the way along the line without stopping the sensor head, as it does not have to be stopped to change direction precisely, as is the case with right-angled changes of direction or bends. It goes without saying here that the wording 'readings can be taken all the way along the line without stopping' does not apply to the starting point or end of the line, at which the sensor head must of course be stopped to be applied to, or lifted from, the testpiece.

If a sphere is used as the calibration body, the line could take such a form that the sensor starts from the equator and moves towards the pole in an ascending spiral and then back from the pole to the equator in a descending spiral.

There are a number of steps which can be taken to allow for the errors of measurement which arise during the testing process. The sensor could be subjected to differing application pressures while taking readings continuously along the line to verify the exact effect of the application pressure on the calibration test results, for example. It may be particularly advantageous, however, to change the sensing force applied to the sensor during a reading sequence continuously, so that the calibration value can be defined as a continuous function of the application force in a defined direction. In other words, the bending of the sensor can be determined and corrected.

It would also be possible to determine the variations due to the friction of the sensor sphere on the surface of the calibration body by reading the calibration body in sections of the line at least in both directions. For example, readings could first be taken along the equator in a clockwise direction and then along the equator in an anti-clockwise direction.

The calibration data attributed to the sensor can then be calculated as follows. The sensor head runs along the path as above; while reading the calibration body with the sensor, the readings are taken from which, knowing the geometry of the calibration body, the data attributable to the sensor can be derived. Relative to the sensor, these are the position of the centre of the sensor sphere or disc, expressed in terms of the machine frame of reference or its radius.

Other advantages and developments of the invention will be apparent from the diagrams, which are as follows:

Fig. 1 shows a coordinate measuring device of what is known as the portal type, in which a sensor is calibrated on a calibration body, which is shown as a sphere here, by way of example.

Figs. 2a and 2b show the sensor of a coordinate measuring device as in Fig. 1, of differing geometries.

Fig. 3 shows a spherical calibration body, on which the line or sections along which the calibration body is read, as in one of the first embodiments, is drawn.

Fig. 4 is an extrapolation of the line as in Fig. 3, in which the sensor is also moved along the equator of the sphere.

Figs. 5a and 5b show a second possible version of a line along which a calibration body is read, in which the sensor moves in a spiral along a calibration sphere.

Fig. 6 shows an extrapolation of the line as in Figs. 5a and 5b, in which the sensor is moved in the opposite direction over sections of the same line.

Fig. 7 shows an alternative version of the line as in Fig. 4, in which the sensor does not have to be lifted from the surface of the calibration body during the reading process.

Fig. 1 shows a coordinate measuring device with which the method in the invention can be conducted. As can be seen, the coordinate measuring device has a measuring table (1) on which the testpiece to be measured can be arranged. On the measuring table (1), there is a portal (2) which can be slid in the direction of the arrow (Y). The measuring table (1) also has guides, not shown here, on which the portal (2) moves, and a drive, also not shown here, such as a friction drive, and a measure via which the shift in direction (Y) can be measured via an optical sensor head attached to the portal (2). The same drive and test structure, the cross-carrier (2a) of portal (2) has a spindle carrier (3) mounted on it, which can be moved in the direction of the arrow (X) and a spindle (4) mounted on the spindle carrier (3) which can be moved in the direction of arrow (Z), so that the sensor head attached to the lower end of the spindle (4) can be moved in all three axes at right angles to one another (X, Y, Z) and its position in the machine frame of reference via the said measures. To the said sensor head (5), there is attached a sensor (6), for example, which can also be moved against the test body in the three axes at right angles to one another (X, Y, Z), the measuring sensor head (5) having reading sensors which move the sensor (6) out of its resting position. The sensor (6) can also be subjected, via a sensing force device, to a sensing force, which normally acts vertically on the surface of the testpiece. To generate the sensing force, the sensing force device has the usual 'sensing force generators', generating an adjustable sensing force, or springs, so that a sensing force acting in the opposite direction is generated when the sensor is moved from its resting position.

As well as a control cabinet (7) housing the firmware required to control the coordinate measuring device, the coordinate measuring device control system also includes an analytical computer (8) which is connected to the control cabinet (7), the said drives, the measures with their associated optical sensor heads, the reading device to record the sensor shifts and the said sensing force device.

As already stated above, the sensor (6) is mounted on the sensor head (5) interchangeably via an interchangeable mount, not described in more detail here, the sensor itself (6) being capable of taking a number of shapes. Figs. 2a and 2b show possible sensors (6), purely by way of example, which are mounted interchangeably on the sensor head (5) of the coordinate measuring device. The sensors (6) have a shaft (14), with what is known as a sensor plate (13) attached to the

sensor head end. This sensor plate (13) is normally made as a cylinder of a ferromagnetic substance, which can be attracted by a magnet in the interchangeable sensor mounting, and has three star-shaped pairs of balls (15a and 15b, 16a and 16b, and 17a and 17b) arranged at an angle of 120° relative to one another, each of which carries an appropriately arranged cylindrical roller on the interchangeable sensor holding in the sensor head (5). At the sensing end of the sensor (6) there are a number of sensor spheres (12), as Fig. 2b shows, which are used to measure the testpiece to be measured. Instead of the sensor sphere, of course, a test disc may also be fitted to the end of the shaft (14).

To enable a testpiece to be measured with this variety of possible sensors, the coordinate measuring device must know the precise position of the centre (M) of the sensing sphere (12) or disc in the machine's frame of reference, or in relation to a defined point of reference in the sensor head (5) or the radius of the sensing sphere (12) or disc, as this alone enables the coordinate measuring device to take readings. If the position of the centre (M) or the radius is not known, it cannot of course be determined by the coordinate measuring device where the sensor sphere touches the testpiece to be measured.

To determine the position of the centre (M) in the machine frame of reference, the sensor to be calibrated (6) is first attached to the sensor head (5) via the interchangeable sensor mounting referred to above but not described in detail here, the first task being to determine the position of the calibration body (11) relative to the sensor sphere. To do this, the coordinate measuring device is operated manually to move the sensor head (5) via the coordinate measuring device drive mentioned above until the sensor sphere (12) is at a set defined point of reference on the calibration body, in this case, by way of example, the pole (P) of the calibration body (11), which in this case is in the shape of a sphere. For manual control purposes, an operating lever (not shown here) is normally used, being moved in the three axes like a joystick. It should be noted, once again, that the calibration body (11) is only shown as a sphere by way of example: other geometric shapes, such as cubes, elliptical bodies or cylinders, can also be used, of course.

In the next step, a line to be travelled, along which the sensor head method is to be used, is obtained on the basis of the calibration body in the coordinate measuring device. The reason this can be done is that the calibration body (11) gives the coordinate measuring device precisely known external dimensions, so that any point on the surface of the calibration body can be determined, starting from the point of reference measured. The path is determined in such a way that, when the sensor head moves along it, it reads at least parts of the continuation body along a line, the line not being limited to a single plane.

In the next step, the sensor head (5) and the sensor attached to it (6) are moved along the predetermined path so that the calibration body (11) is read continuously along the said line. With this continuous reading process, the appropriate readings are taken of the sensor shift of the sensor (6) relative to the sensor head (5), and the exact position of the sensor head (6) in the coordinate measuring device, referred to below as the machine position. From those readings, knowing the geometry of the calibration body, the calibration data attributable to the sensor can be calculated, which in the present embodiment is the centre (M) and radii of the sensor sphere (12).

The actual lines along which the sensors move over the calibration body will now be shown, by way of example, in a diagrammatic representation as in Figs. 3 to 7, with a sphere (11) as calibration body.

In a simple version of such a line, as in Fig. 3, which consists of a large number of sections (17a, b, c, d, e), the sensor sphere (12) is first placed at any given point at the back on the equator, in this case marked (A). Starting from here, the sensor sphere is moved continuously along section (17a) in the direction of the pole (P), which is marked (P) here, and from there back to the equator. The said section (17a) is arranged in such a way that it runs in a vertical direction intersecting the pole (P). Once the sensor sphere has arrived at the equator, it is removed from the surface of the calibration body (11) and reapplied at the equator at a small distance from section (17a). Once again, starting from the equator (A), the sensor sphere (12) now runs from the front side of the sensor sphere in a single pass over the pole (P) to the back along section (17b) back to the equator (A). Here, the sensor sphere (12) is lifted again, positioned on the equator at the start of section (17c) and run from there once again directly over the pole (P) to the equator, and so on. As the geometry and position of the calibration body are known, the position of the centre (M) of the sensor sphere (12) and its radius can now be calculated from the readings obtained. The line therefore shows a series of sections which are obtained by cutting vertical surfaces with the surface of the sphere, all the sections passing through the pole.

Fig. 4 shows an advantageous version of the line as in Fig. 3, although the sensor sphere does not have to be lifted from the surface of the calibration body specially between the sections to be described (17a/b/c/d/e), but is run from the end of one section described (17a/b/c/d/e) to the start of a new section (17a/b/c/d/e) on the equator (A). In addition, the equator as a whole is also surveyed along section (18) before or after the lines (17a/b/c/d/e) are described.

The line also includes one or more sections which are obtained by intersecting a horizontal surface with the surface of the sphere, the section being identical to the equator of the sphere.

Fig. 7 shows another embodiment of a line (20a/b, 21a/b) on which the sensor sphere (12) does not specifically have to be lifted from the surface of the calibration body between the sections (20a/b, 21a/b) to be described. The sensor sphere (12) is moved in such a way that section (20a) is described first, i.e. the equator (A). Then, starting from the equator (A) or section (20a) in each case, sections (21a, 21b) are read, and, in a third step, starting from section (20a), the sensor sphere (12) is moved along section (21a) to section (20b) and this is then read fully in turn.

The line thus shows a large number of sections which are obtained by intersecting vertical sections with the surface of the sphere, but those sections do not pass through the pole. The line also includes two or more sections obtained when a horizontal plane intersects the surface of the sphere, with one section being identical to the equator of the sphere.

Compared with the embodiment in Fig. 3, reading the calibration body via the sections in Figs. 4 and 7 has the particular advantage that the sensor (6) does not now need to be lifted from the surface of the calibration body at all, and the process is therefore much faster than is possible in Fig. 3. There are also a large number of test points along the equator of the calibration body. On the other hand, the embodiments shown in Figs. 4 and 7 have the disadvantage that, when starting a new section (17a/b/c/d/e or 21a, 21b or 20b), an abrupt turn must be made through ninety degrees. To avoid the need for such changes of direction, the sensor head must be braked almost to a complete standstill, so that such changes of direction take time.

In a particularly advantageous embodiment, the line is therefore made in such a way that the line along which the sensor head (12) is to measure the surface of the calibration body (11) to be surveyed does not include any right-angled bends.

This can be done, for example, by running the sensor head or sensor sphere as in Figs 5a/b along a spiral section (19a) from the equator (A) to the pole (P) and from pole (P) in a second spiral section (19b) offset from the first spiral section (19a) across the pole (P) without any right angled bends.

Fig 5b shows a top view of the calibration body (11) of which the side view appears in Fig. 5a. As will be apparent from Fig. 5b in particular, spiral section (19a) passes into spiral section (19b) at the pole without any right-angled bend.

To determine the effects of the sensing forces with which the sensor sphere is pressed against the surface of the testpiece to be measured, the line as a whole, or parts of it, can be measured repeatedly at differing sensing forces; but the disadvantage of this is, once again, that it takes time.

It is therefore particularly advantageous if the sensing force is varied dynamically during sensing. By way of example, the sensing force can be made to increase and decrease alternately, following a periodic function, so that the test results obtained can be used to determine the effects of the sensing force on the test results.

Friction, which acts on the sensor sphere in the opposite direction to that in which it is moving, also has an effect on the test results, of course. It may therefore be advisable to read the line, or parts of it, in both possible directions of movement. In the simplest case, this can be done by reading the line, or part of it, and then reversing direction and reading that same line, or part of it, in the other direction. The remarks above also apply to this change of direction, in that the sensor head must come to a complete stop and restart in the opposite direction. It is therefore particularly advantageous to change the direction of sensing without changing direction through 180° in this way. Fig. 6 shows one example of how this can be done. Fig. 6 shows a top view of the calibration body (11). As can be seen, the sphere is first moved in a rising spiral section (20) to the pole of the calibration body (11), where it then changes course slightly and follows the same spiral line (20) in the opposite direction. This makes it possible to change course without the sensor head stopping, so that the whole line can now be read without lifting the sensor head, even though a change of direction is involved.

Finally, it should also be noted that the invention is not by any means limited to the embodiments shown here, and that the embodiments are of course open to modification.

In the embodiments shown, for example, readings are only taken above the equator of the calibration body. Of course, they could also be taken below the equator of the calibration body, so that, in relation to the embodiments, all the lines shown in Figs. 3 to 7 could start and/or end below the equator.

Patent claims

1. A method for calibrating the sensor (6) of an electronically controlled coordinate measuring device, with a calibration body (11) of known geometry, comprising the following steps:

- Moving the sensor head along a path in such a way that the sensor reads at least parts of the surface of the calibration body continuously along a line, that line not being restricted to one level.
 - Calculating the calibration data for the sensor from the readings from the sensing.
2. Method as in claim 1, in which a spherical calibration body (11) is sensed.
 3. Method as in claims 1 and 2, in which the said line does not include any right-angled bends.
 4. Method as in claims 1-3, in which the sensor reads individual sections of the line at least in both directions.
 5. Method as in claims 1-4, in which at least part of the line is spiral in shape.
 6. Method as in claims 1-5, in which the line is selected in such a way that all the readings can be taken without lifting the sensor from, and then replacing it on, the surface of the calibration body.
 7. Method as in claims 1-7 *[sic]*, in which the sensor is subjected to varying sensing forces while taking readings continuously along the line.
 8. Method as in claim 7, in which the sensing force acting on the sensor is varied during the reading process.
 9. Method as in claims 1-8, in which the sensor senses the complete line without the sensor head stopping.
 10. Method as in claims 1-9, in which the calibration data are the position of the centre of a sensing sphere or disc of the sensor in the machine's frame of reference and/or the radius of a sensing sphere or disc.
 11. Coordinate measuring device for measuring a testpiece, with
 - A measuring sensor head (5) to which a sensor (6) to be calibrated is attached
 - A calibration body (11) used to calibrate the said sensor
 - A control system
 which moves the sensor head along a path, such that the sensor senses parts at least of the surface of the calibration body continuously along a line, that line not being restricted to one plane
 and the sensor readings obtained give the calibration data for the sensor.
 12. Coordinate measuring device as in claim 11, in which the calibration body is a sphere.
 13. Coordinate measuring device as in claims 11 or 12, in which the control system includes a sensing force device which controls the sensing force applied to the sensor.
 14. Coordinate measuring device as in claim 13, in which the sensing force device applies varying sensing forces to the sensor during the continuous sensing process.
 15. Coordinate measuring device as in claim 14, in which the sensing force is varied dynamically during the sensing process.
 16. Coordinate measuring device as in claims 11-15, in which the control system is designed in such a way that the said line does not include any right-angled bends.
 17. Coordinate measuring device as in claims 11-16, in which the line is designed in such a way that all the readings can be taken without lifting the sensor from, and re-applying it to, the surface of the calibration body.
 18. Coordinate measuring device as in claims 11-17, in which the control system is designed in such a way that the line is at least partly spiral in shape.
 19. Coordinate measuring device as in claims 11-18, in which the control system is designed in such a way that the sensor reads some sections of the line at least in both possible directions.
 20. Coordinate measuring device as in claims 11-19, in which the control system is designed in such a way that the sensor reads the entire line without stopping.

21. Coordinate measuring device as in claims 11-20, in which the calibration data are the position of the centre of a sensing sphere or disc of the sensor in the machine's frame of reference and/or the radius of a sensing sphere or disc.
22. Coordinate measuring device as in claim 12, a characteristic of which is that the line includes a large number of sections which are obtained by vertical planes intersecting the surface of the sphere.
23. Coordinate measuring device as in claim 22, a characteristic of which is that the sections pass through the pole.
24. Coordinate measuring device as in claims 22 or 23, a characteristic of which is that the line also includes one or more sections obtained by a horizontal plane intersecting the surface of the sphere.
25. Coordinate measuring device as in claim 24, a characteristic of which is that the section is identical to the equator of the sphere.

Two page(s) of drawings

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record.**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☒ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.